Оглавление

[1. Понятие проектирования и системы автоматизированного проектирования 1](#_Toc443503339)

[2. Системный подход к проектированию 3](#_Toc443503340)

[3. Некоторые понятия системотехники 4](#_Toc443503341)

[4. Классификация моделей 8](#_Toc443503342)

[5. Критерии выбора математических моделей и методов моделирования 16](#_Toc443503343)

[6. Этапы и уровни проектирования, маршруты проектирования 17](#_Toc443503344)

[7. Разновидности САПР 22](#_Toc443503345)

# Понятие проектирования и системы автоматизированного проектирования

[***Проектирование***](javascript:termInfo(%22Проектирование%22))технического объекта — процесс, который заключается в составлении исходного описания ещё не существующего объекта в принятой форме и преобразовании его в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера.

Исходное описание объекта называется ***техническимзаданием*** (ТЗ), которое отражает требования к объекту. Окончательное описание объекта называется ***проектом***. Проект является реализацией ТЗ в виде проектной документации, содержащей сведения,достаточные для изготовления объекта в заданных условиях. Проектная документация может быть представлена в виде чертежей, схем, пояснительных записок, программ для программно-управляемого технологического оборудования и других документов.

В ТЗ на проектирование объекта указывают, по крайней мере, следующие данные:

* Назначение объекта;
* Перечень, выполняемых функций;
* Условия эксплуатации. Указываются качественные и количественные характеристики. К качественным характеристикам могут относиться условия использования прибора в помещении или на улице, условия работы программного продукта на определенной аппаратной и программной платформе, и т.д. В качестве количественных характеристик указываютсяноминальныезначения (и области допустимых значений)внешних параметров (температура окружающей среды, внешние силы, электрические напряжения, нагрузки и т.п.).
* Требования к выходным параметрам, характеризующим свойства объекта проектирования. Эти требования выражены в виде условий работоспособности:, где– i-й выходной параметр, — вид отношения;–норма i-го выходного параметра. В случае, еслиR–отношение равенства, нужно задать требуемую точность выполнения равенства.

Примеры условий работоспособности:

* расход топлива на 100 км пробега автомобиля < 8 л;
* коэффициент усиления усилителя на средних частотах > 300;
* интенсивность запросов к системе ≤ 100 запросов/мин.

Процесс проектирования во времени разделяется на ***стадии (этапы) проектирования***. В общем случае выделяют стадии научно-исследовательских работ (НИР), эскизного проекта или опытно-конструкторских работ (ОКР), технического, рабочего проектов, испытаний опытных образцов.

*Этап НИР*ещё называют стадией предпроектного исследования или *технического предложения*. В результате его проведения готовится совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки изделия на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий и патентные исследования.

Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

*Эскизный проект* — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документация.

*Технический проект* — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документация.

Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки *рабочей конструкторской документации*.

На последнем этапе проектирования выполняется изготовление опытного образца устройства или полная реализация программного продукта, и проводятся *тестовые испытания* с целью проверить соответствие полученного результата условиям технического задания.

Этапы проектирования подразделяют на составные части, называемые ***проектными процедурами***. Примерами проектных процедур могут служить подготовка деталировочных чертежей, анализ кинематики, моделирование переходного процесса, оптимизация параметров и другие проектные задачи.

Для разных проектных процедур характерна типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

Выполнение некоторой последовательности проектных процедур в процессе проектирования называется***маршрутом проектирования***.

Проектирование, при котором все проектные решения получают без использования компьютера, называется *ручным*, без участия человека на промежуточных этапах – *автоматическим*, при взаимодействии человека скомпьютером в интерактивном режиме –*автоматизированным проектированием*. Автоматическое проектирование возможно лишь для сравнительно несложных объектов. В основном же применяется автоматизированное проектирование.

Система, реализующая автоматизированное проектирование, называется ***системой автоматизированного проектирования***(САПР, в англоязычном написании CAD System — ComputerAidedDesignSystem).

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы проектирующие и обслуживающие.

*Проектирующие подсистемы* непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

*Обслуживающие подсистемы* обеспечивают среду (или оболочку), в которой функционируют проектирующих подсистем. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

В САПР принято выделять семь *видов обеспечения*:

* техническое обеспечение –включает различные аппаратные средства (компьютеры, периферийные устройства, сетевое оборудование);
* математическое обеспечение – математические модели, методы и алгоритмы для выполнения проектирования;
* программное обеспечение – системные и прикладные программы САПР;
* информационное обеспечение – базы данных под управления СУБД и другие данные, используемые при проектировании;
* лингвистическое обеспечение – языки пользовательского интерфейса, языки программирования и языки обмена данными между техническими средствами САПР;
* методическое обеспечение – различные методики проектирования;
* организационное обеспечение – штатные расписания, должностные инструкции и другие документы, регламентирующие работу проектного предприятия.

# Системный подход к проектированию

Наиболее общим подходом к проектированию является*системный подход*. Он включает в себя основные идеи и принципы проектирования сложных систем.

Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, определение типов связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, формирование модели системы, исследование модели и, возможно,оптимизацию её структуры и функционирования.

Общие идеи системного подхода находят свою конкретизацию в структурном, блочно-иерархическом и объектно-ориентированном подходе.

При *структурном* подходе требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов.

*Объектно ориентированный подход* – используется, прежде всего при проектировании ПО. Дает следующие преимущества для решения проблем управления сложностью ПО.

– данные и процедуры распределены между классами объектов, что вносит в проект большую структурную определенность;

– сокращается объем спецификаций благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений наследования между свойствами объектов разных иерархических уровней;

– из-за ограничений доступа к определенным категориям данных в объектах уменьшается вероятность ошибочных действий;

– облегчается интеграция ПО – т.к. в каждом классе четко описаны форматы взаимодействия с ним.

Но наиболее часто при проектировании сложных технических объектов применяется *блочно-иерархический подход* к проектированию. Подход использует идеи декомпозиции представления сложных объектов и средств их создания на *иерархические уровни*, вводит понятие *стиля проектирования*, устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

Таким образом, при блочно-иерархическом подходесложная задача большой размерности разбивается на группы задач малой размерности, которые могут решаться последовательно или параллельно, а это сокращает время решения и вычислительные ресурсы.

Различают нисходящий, восходящий и смешанный стиль проектирования. Последовательность решения задач от нижних иерархическихуровней к верхним характеризует восходящее проектирование, обратная последовательность приводит к нисходящему проектированию, в смешанном стиле имеются элементы как восходящего, так и нисходящего проектирования. В большинстве случаев для сложных систем предпочитают нисходящийстиль проектирования. Однако, при наличии заранее спроектированных блоков (устройств) можно говорить о смешанном стиле проектирования.

# Некоторые понятия системотехники

Системный подход является базой для обобщающей дисциплины "теория систем" (другое используемое название — "системный анализ"). В технике аналогичную дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы и их проектирование, обычно называют *системотехникой*.

В системотехнике введен ряд терминов, среди них к базовымможно отнести следующие понятия.

*Система* – множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой. Элемент — часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.

*Сложная система*, характеризуемая большим числом элементов и большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности.

* Целенаправленность — свойство искусственной системы, выражающее её предназначение. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.
* Целостность — свойство системы, которое характеризует взаимосвязанность элементов и такую зависимость выходных параметров от параметров элементов, при которой большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.
* Иерархичность — свойство сложной системы, которое отражает возможность и целесообразность ее иерархического описания, т.е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое–часть.

Подсистема — часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.

Надсистема — система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.

Пример.

Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К подсистемам компьютера относятся процессор (процессоры), оперативная память, кэш-память, шины, устройства ввода-вывода. В качестве надсистемы могут выступать вычислительная сеть, кластер, к которым принадлежит компьютер. Внутренние параметры — времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры — производительность компьютера, емкость оперативной и внешней памяти, себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры — напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

* иерархическая структура систем, организация их проектирования;
* анализ и моделирование систем;
* синтез и оптимизация систем.

*Модель* – физическая или абстрактная система, которая адекватно (правдоподобно) отображает некоторые интересующие исследователя свойства реального объекта.

*Моделирование*имеет 2 четко различимые задачи:

1. создание моделей сложных систем (в англоязычном написании — modeling);
2. анализ свойств систем на основе исследования их моделей (simulation).

*Синтез* – решает 3 задачи:

1. определение функций системы (абстрактный синтез);
2. синтез структуры системы, т.е. определение состава готовых элементов, способов их соединения и взаимодействия (структурный синтез);
3. расчет (или выбор) численных значений параметров элементовдля получения желаемого качества проекта (параметрический синтез).

Задачи синтеза и анализа относятся к области принятия проектных решений и являются проектными процедурами.

Задачи *абстрактного синтеза* относятся к задачам творческого характера.

Процедуры *параметрического синтеза* в САПР выполняются либо человеком в процессе многовариантного анализа (в автоматизированном режиме), либо реализуются на базе формальных методов оптимизации (в автоматическом режиме).

Задачи *структурного синтеза* относятся к наиболее трудно формализуемым. Однако в ряде приложений имеются примеры успешногоавтоматического решения некоторых таких задач. Примерами могут служить задачи конструкторского проектирования печатных плат и кристаллов БИС; логического синтеза цифровых и управляющих автоматов, комбинационных схем, пассивных электрических цепей (в частности фильтров) в цифровой автоматике и вычислительной технике; синтеза технологических процессов и управляющих программ для механообработки в машиностроении и некоторые другие.

В остальных случаях применяется ручной итерационный метод в интерактивном режиме при решающей роли инженера-разработчика (синтез, анализ, внесение изменений в проект и модель (модификация), и снова анализ).

Имеется также ряд подходов для обобщенного описания задач принятия проектных решений в процессе структурного синтеза, которые относятся к области *теории принятия решений*.

Для выполнения синтеза проектных решений в интерактивном (автоматизированном) режиме в САПР применяют вспомогательные средства. К ним относятся базы типовых проектных решений, справочные данные, развитые средстваверификации проектных решений, унифицированные языки представления описаний (например, языки VHDL и Verilogв радиоэлектронике), поддержка типовых маршрутов проектирования.

Следующая после синтеза группа проектных процедур — процедурыанализа. Цель *анализа* — получение информации о характере функционирования и значениях выходных параметровYпри заданных структуре объекта, сведениях о внешних параметрахQи параметрах элементов X. Если заданы фиксированные значения параметров Xи Q, то имеет место процедура *одновариантного анализа*. В процедурах *многовариантного анализа* определяется влияние внешних параметров, разброса и нестабильности параметров элементов на выходные параметры.Анализ часто выполняется с помощью моделирования.

*Моделирование* состоит из этапов формирования модели и её исследования. В свою очередь, формирование модели включает две процедуры: во-первых, разработку моделей отдельных компонентов, во-вторых, формирование модели системы из моделей компонентов. Как правило, модели компонентов разрабатываются предварительно специалистами в прикладных областях и включаются в библиотеки моделей САПР.

Формирование модели нового объекта выполняется с использованием библиотечных моделей компонентов. Эта процедура может выполняться вручную или в автоматизированном режиме (пользователь описывает объект на некотором входном языке программы анализа, в графическом или списочном виде, а система уравненийбудет получена автоматически).

Вторая процедура моделирования в случаематематической моделисводится к решению её уравнений, например, системы дифференциальных уравнений, и вычислению вектора выходных параметровY.Если заданы статистические сведения о параметрах Xи нужно получить оценки числовых характеристик распределений выходных параметров (например, оценки математических ожиданий и дисперсий), то это – процедура *статистического анализа*.

Если требуется рассчитать матрицы абсолютной Aи (или) относительной Bчувствительности, то имеет место задача *анализа чувствительности*.Элемент Ajiматрицы Aназывают абсолютным коэффициентом чувствительности, он представляет собой частную производную j-го выходного параметра yjпо i-ому параметру xi. Другими словами, Ajiявляется элементом вектора градиента j-го выходного параметра. На практике удобнее использовать безразмерные относительные коэффициенты чувствительности Bji, характеризующие степень влияния изменений параметров элементов на изменения выходных параметров:

Процедуры статистического анализа и анализа чувствительности — характерные примеры процедур многовариантного анализа.

Сопоставление результатов анализа с желаемыми значениями является целью процедуры верификации.

*Верификация*— проверка, способ подтверждения соответствия конечного продукта предопределённым эталонным требованиям.

*Валидация* – подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, точно и в полном объёме предопределены и выполнены.

Верификация производится всегда, а валидация при необходимости заключения о возможности применения продукции для конкретных условий.

Примеры.

Предприятие выпускает трубы, предназначенные для закладки в землю, в соответствии с некоторыми ТУ (Техническими условиями). Продукция этим ТУ соответствует, но поступил заказ, предполагающий укладку труб по дну моря. Могут ли трубы, соответствующие имеющимся ТУ, быть применены в данном случае? Именно валидация и дает ответ на этот вопрос.

Другой пример связан с проверкой качества продукта. Валидация проводится с участием представителей заказчиков, пользователей, бизнес-аналитиков или экспертов в предметной области, которые делают заключении о том, что продукт соответствует реальным нуждам и потребностям пользователей, заказчиков и других заинтересованных лиц.

В *общем виде модель системы* можно представить выражением (1.1)

Y=F(I, Q, X ), (1.1),

где

Y – множество выходных параметров;

F – функциональный оператор (например, схемная реализация);

I – множество входных параметров (входные воздействия);

Q –множество внешних параметров (внешние воздействия);

X –множество внутренних параметров.

Иногда I не выделяют в самостоятельное множество и рассматривают его как подмножество Q.

*Параметры* – величины, которые характеризуют свойстваобъекта. Обычно в моделях систем в качестве параметров выбираются величины, которые в **процессе исследования не меняются**. Параметры подразделяют на *внутренние*, выражающие свойства элементов системы, *выходные*, характеризующие свойства самой системы (качество или режимы работы) и *внешние* –свойствавнешней среды, которая влияет на систему.

Примеры.

Для электронного усилителя внутренними параметрами являются значения сопротивлений, емкостей, параметры транзисторов; выходными параметрами – коэффициент усиления на средних частотах, полоса пропускания, входное сопротивление; внешними параметрами – температура окружающей среды, напряжение источников питания, сопротивление нагрузки. Для цифровых элементов выходными параметрами могут быть: средняя задержка элемента, коэффициент разветвления по выходу, потребляемая мощность.

Для компьютера внутренние параметры — времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры — производительность компьютера, емкость оперативной и внешней памяти, себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры — напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

*Фазовая переменная* – величина, которая характеризует, энергетическое или информационное наполнения объекта (характеризует протекание физического процесса в некотором элементе физической системы), **изменяются в процессе исследования**, и служат для определения значений выходных параметров по результатам исследования.

*Состояние*— совокупность (вектор) значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования объекта, а сам вектор называется *вектором переменных состояния*.

*Поведение (динамика) системы* — изменение состояния системы в процессе функционирования.

# Классификация моделей

Существует большое количество различных классификаций моделей **с разных точек зрения (аспектов)**, которые отражают соответствующие свойства объектов. Рассмотрим наиболее распространённые из них.

**При иерархическом проектировании** сложных систем часто различают следующие типы описаний и, соответственно, моделей-спецификаций:

*Функциональное описание*отображает множество функций проектируемой системы, чаще всего представляется функциональными схемами. Этап составления функциональных описаний часто называют функциональным проектированием.

*Информационное описание* включает в себя основные понятия предметной области (сущности), словесное пояснение или числовые значения характеристик (атрибутов) используемых объектов и описание связей между ними. Наиболее часто такая модель отражает структур данных – их состав и взаимосвязь. Информационные модели можно представлять в виде графов, диаграмм сущность-отношение, в виде таблиц или списков. Этап получения таких описаний часто называют информационным проектированием.

*Структурное описание* характеризует составные части системы иих соединения,обычно представляется структурными схемами и различного рода конструкторской документацией. Этот этап называют конструкторским проектированием.

*Поведенческое описание* характеризует поведение системы во времени (алгоритмы её работы или процессы её изготовления). В поведенческих моделях фигурируют такие категории как состояние системы, условия перехода из одного состояния в другое и т.д. Разработка алгоритмов и программного обеспечения систем является предметом алгоритмического проектирования, а разработка технологических процессов изготовления изделий — предметом технологического проектирования.

А теперь рассмотрим наиболее общие классификации, которые используются **при моделировании** сложных систем (рис.1.1).

Абстрактные

Модели

Прочие (граф, чертеж, таблица и т.д.)

Макет

Тренажер

Опытный образец

Математические

Физические

Непрерывные

Дискретные

Поведенческие

Структурные

Вероятностные

Детерминированные

Статические

Динамические

Аналитические

Алгоритмические

Имитационные

Линейные

Нелинейные

**Рис.1.1.** Классификация моделей

Все модели можно разделить на физические и абстрактные.

*Физическая модель*– это материально реализованная система, например макет, тренажер или экспериментальный образец. *Абстрактная модель*– это описание объекта проектирования или исследования на каком-либо языке, например график, чертеж, схема, граф, таблица, формула, структурная схема алгоритма, программа для ЭВМ или словесное описание.

Разновидностью абстрактных моделей является *математическая* модель. Такая модель представляет собой описание объекта на языке математических отношений.Математические модели в свою очередь делятся на аналитические и алгоритмические.

*Аналитические* модели имеют вид явно выраженных функциональных зависимостей (1.1) выходных параметров от внешних и внутренних. Такие модели могут иметь вид алгебраических, дифференциальных, интегро-дифференциальных уравнений (системы уравнений) или логических условий.

Например, аналитическая модель логического элемента 2И-НЕ может выглядеть так: , или аналитическая модель RC–цепи, подключённой к источнику постоянного напряженияЕ, для временной зависимости напряжения u(t) на конденсаторе С будет иметь вид линейного дифференциальное уравнение – RC(du(t)/dt) +u(t) =E. Параметрымодели – R, C и Е.

Аналитическая модель может быть исследована несколькими методами:

* аналитическим (иногда называют символьным), когда стремятся получить в общем виде явные зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными состояния системы;

Например, решение дифференциальногоуравнения конденсатора при начальных условиях (конденсатор разряжен) дифференциальное – экспоненциальный заряд С через R от источника Е.

* численным, когда, не умея решать уравнения в общем виде, стремятся получить числовые результаты при конкретных начальных данных;
* качественным, когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения (например, оценить устойчивость решения).

Нахождение аналитических решений оказывается исключительно ценным для выявления общих теоретических закономерностей простых линейных цепей, систем и устройств. Основной недостаток –хорошие результаты удаётся получить только для достаточно простых систем. Тем не менее, ряд мощных системы символьной математики Maple, Mathematicaили MATLAB, способны в значительной мере автоматизировать решение сложных задач аналитического моделирования. Напрактике моделирование нелинейныхсистем и устройств с использованием численныхметодов оказывается намного более эффективным, чем аналитическое моделирование отдельных частных линейных цепей, систем или устройств.

*Алгоритмическая* модель –математическая модель, в которой отсутствуют явные выражения выходных параметров от параметров компонентов и внешних условий. Запись соотношений модели и выбранного численного метода решения представляет собой алгоритм, позволяющий вычислить выходные параметры объекта путем решения системы уравнений.

Пример простой алгоритмической модели – для элемента 2И-НЕ модель может быть представлена фразой: если на входе A, или на входе B лог.0, то выходу F присвоить лог.1, иначе лог.0.

Среди алгоритмических моделей важный класс составляют имитационные модели.

*Имитационная модель*– Математическая модель, предназначенная для отображения процессов, **протекающих во времени** в моделируемом **на компьютере** объекте при произвольных внешних воздействиях.Она, как и все алгоритмические модели, задаёт зависимости выходных параметров объекта от внешних и внутренних параметровв неявном виде, но в виде **алгоритма моделирования**.

Основным преимуществом *имитационного моделирования* по сравнению саналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и другие, которые часто создают трудности при аналитических исследованиях.

В настоящее время имитационное моделирование является наиболее эффективным методом исследования больших систем. Имитационное моделирование может быть положено в основу структурного, алгоритмического и параметрического синтеза больших систем, когда требуется создать систему с заданными характеристиками при определенных ограничениях.

По этой причине имитационное моделированиенаиболее часто используется для анализа и верификации сложных систем при их проектировании, а аналитические и простые алгоритмические модели используются как вспомогательные модели элементов для построения сложных имитационных моделей узлов и устройств.

По отношению **к раскрытию внутренней структуры и внутренних процессов** в объекте различают поведенческие и структурныемодели.

Для *поведенческих* моделей характерно то, что они описывают только взаимодействие данного объекта с другими объектами, не раскрывая внутренней структуры и внутренних процессов, которые протекают в объекте.Это модели типа *черный ящик.*Примером может служить рассмотренная выше алгоритмическая модели элемента 2И-НЕ.Такие модели часто называют *поведенческими*(иногда функциональными), в противоположность *структурным* моделям, что, как мы видели, перекликаетсяс классификациеймоделей-спецификаций.

*Структурные*модели в отличие от поведенческих моделей отражают внутреннее строение объекта. Элементы структурной модели могут быть описаны поведенческими моделями, что даёт возможность с помощью небольшой библиотеки моделей базовых элементов без особых трудностей моделировать весьма широкий класс узлов и устройств. Однако на практике их применение ограничено.

Недостатки:

1. с увеличением сложности объектов резко увеличивается объем модели и потребляемые ресурсы, достаточно вспомнить, что микропроцессор Pentium содержит около трех миллионов транзисторов;
2. внутренняя структура объекта далеко не всегда известна;
3. скорость просчета увеличивается.

Время просчета поведенческой модели (из-за отсутствия в ней деталей нижележащих уровней) во много раз меньше, чем структурной, т.е. при использовании поведенческих моделей эффективность моделирования возрастает в 10-100, а иногда в тысячу и более раз.

По отношению **ко времени** различают статические и динамические модели.

Основной признак *статической* модели– отсутствие в их описаниях независимой переменной – времени. Глобальная функция системы для статических систем выглядит как (1.2).

(1.2)

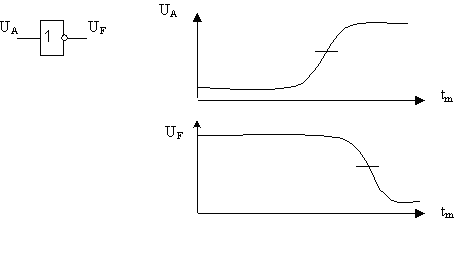
С помощью статических моделей можно определить установившееся состояние исследуемого объекта, оценить правильность его функционирования, исследовать статические ошибки и построить основные статические характеристики (например, для электронных схем – входную, передаточную и выходную характеристику).

*Динамические* модели имитируют поведение объекта во времени. В них явным или неявным образом присутствует время (1.3).

(1.3)

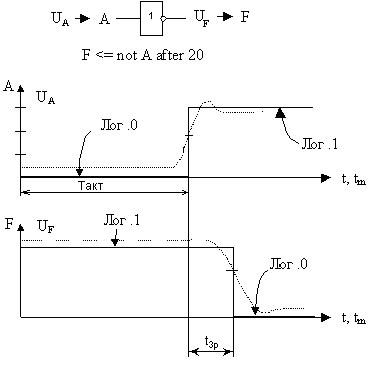
С помощью динамических моделей исследуются переходные процессы в системе, определяется её быстродействие и задержки распространения сигналов через элементы, строятся переходные характеристики.

По **характеру изменения переменных** модели делятся на непрерывные и дискретные.В *непрерывных* моделях фигурирующие в них переменные непрерывны. Это касается и такой независимой переменной, как время tm (рис.1.2). Здесь UA(tm); UF(tm) и tm–непрерывны.



**Рис.1.2.** Представление переменных в непрерывных моделях.

Для *дискретных* моделей переменные, в том числе и время, дискретны, то есть для них определено некоторое конечное множество разрешенных значений.



t0 t1 t2

**Рис. 1.3.** Преобразование непрерывной системы в дискретную модель

В примере на рис.1.3 показано, как непрерывный объект преобразуется в дискретную модель, непрерывные переменные UA и UFдискретизируются в соответствии с двумя уровнями напряжения: лог.0 и лог.1.Время также перестает быть непрерывным,оно принимает значения, которое определяемые интервалами между переключениями входных сигналов (тактами) и задержками сигналов на выходах элементов(t0, t1, t2, ...).

По **принципу учёта случайных факторов**модели делятся на детерминированные и стохастические.

*Детерминированные* модели – это модели с фиксированными значениями параметров. Как правило для исследования используются номинальные значения параметров, хотя для исследования работы объекта в режиме «наихудшего случая» могут выбираться максимальные или минимальные значения. Такие модели относительно просты и экономичны, но иногда недостаточно точны для окончательных оценок и принятия ответственных решений.

*Стохастические (вероятностные)* модели учитывают случайные факторы, например, случайные отклонения параметров от своих номинальных значений из-за технологических разбросов, температурных и временных изменений.

Случайные значения параметров модели обычно генерируются с помощью датчиков псевдослучайных чисел по заданному закону распределения. Один прогон модели дает одну реализацию случайного процесса. Поэтому для получения достоверных оценок требуется представительная выборка, то есть большое число "испытаний" модели. Кроме того, немало машинного времени расходуется и на статистическую обработку результатов моделирования.

Процесс моделирования с помощью вероятностных моделей называется *статистическим моделированием* и является разновидностью имитационного моделирования.

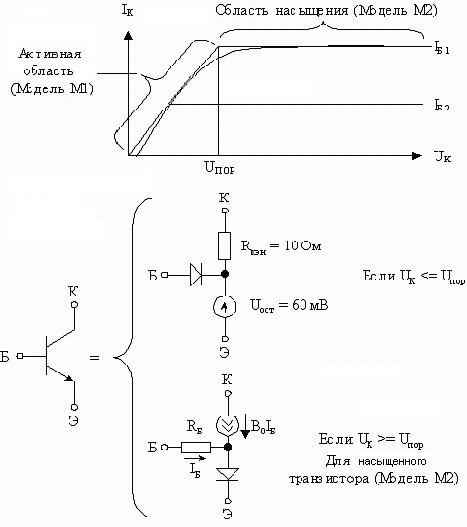
Помимо больших затрат ресурсов при моделировании существенную проблему для статистического моделирования представляет выявление законов распределения значений тех или иных параметров. Поэтому вероятностные модели применяются:

* только тогда, когда уже приняты основные проектные решения на основе детерминированных моделей;
* в тех, достаточно редких, случаях, когда экономически оправдано создать объект с максимально технологически возможными значениями его выходных параметров, в то время как наиболее распространённый принцип проектирования ориентирован на закладку в проект определённого запаса работоспособности.

По **характеру зависимости выходных параметров от входных**модели делятся на линейные и нелинейные.

Большинство реальных систем нелинейны и их модели получаются слишком сложными. Однако во многих случаях нелинейные системы можно линеаризовать, пожертвовав точностью, но получив при этом более простые модели.

Классическим примером нелинейного объекта является биполярный транзистор, для которого зависимость IK = f(UK, IБ) явнонелинейна. Это видно и "не вооруженным взглядом", достаточно лишь посмотреть на рис.2.1.



**Рис.1.4.** Замена нелинейной модели транзистора двумя линейными моделями

Конечно, можно использовать нелинейную модель Эберса-Молла, справедливую для всех возможных режимов работы транзистора, но она весьма сложна.

Аппроксимировав нелинейную зависимость IК = f(UК) при IБ = const двумя отрезками прямых, можно избавить себя от необходимости работать со сложной нелинейной моделью транзистора, заменив ее двумя простыми линейными моделями:

* Модель М1 - справедлива для активного транзистора;
* Модель М2 - справедлива для насыщенного транзистора;

В точке UК = UПОР обе модели должны давать одинаковый результат, обеспечивая правильную "стыковку".

# Критерии выбора математических моделей и методов моделирования

Основными требованиями к математическим моделям являются требования адекватности, точности, экономичности.

Эффективность использования моделей разных уровней абстракции и степени детализации зависит от их *экономичности* (сложности, потребляемых ресурсов, времени обработки) и адекватности представления свойств объекта.

*Адекватность* модели характеризуется правильностью отображения в ней требуемых **дляпоставленной задачи** свойств объекта. Таким образом, с качественной точки зренияадекватность модели можно оценить перечнемкачеств, связей и характеристик, которые являются важными для задачи конкретного исследования, а количественно – приемлемой точность расчета необходимых выходных параметров.

Например, в модели биполярного транзистора напряжение насыщенного транзистора является одним из основных параметров при проектировании аналоговых ключей и "почти не контролируется" при разработке цифровых схем.

*Областью адекватности* модели называется область в пространстве параметров (как правило, внешних: температура окружающей среды, частота входных сигналов, напряжение питания, и т.д.), в пределах которой точность расчёта выходных параметровмодели будет находиться в допустимых пределах.

*Точность модели*– это количественная оценка степени совпадения модельных результатов с натурными.

Как правило, объекты проектирования характеризуются не одним, а множеством выходных параметров. Глобальная функция системы:

Y=F(I,Q,X), (1.4)

где Y=(y1,y2,…,yk) –вектор выходных параметров.

Обозначим выходные параметры объекта через yi, а значения тех же параметров в модели через ymi, i= l, …,k.Тогда, для каждого выходного параметра можно вычислить относительную погрешность, с которой он представляется в модели(1.5).

. (1.5)

Вектор относительных погрешностей (1.6) и будет являться векторной оценкой точности модели.

 (1.6)

Повышение точности модели делает её сложнее, а, значит, и менее экономичной.

Таким образом, определенным классам объектов проектирования и задачам их исследования должны соответствовать модели и методы решения, сочетающие в себе адекватность и максимальную экономичность. Этим и объясняется использование в САПР моделей разных уровней абстракции и степени детализации и точности для объектов одного и того же типа.

# Этапы и уровни проектирования, маршруты проектирования

Как уже было отмечено, в большинстве случаев при проектировании сложных систем используется блочно-иерархический подход.

Список иерархических уровней в каждом приложении может быть специфичным, но для большинства приложений характерно следующее наиболее крупное выделение уровней:

* *системный уровень*, на котором решают наиболее общие задачи проектирования систем и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования, [диаграмм потоков данных](javascript:termInfo(%22диаграмм%20потоков%20данных%22)) и т.п.;
* *макро-уровень*, на котором проектируют отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т.п.;
* *микро-уровень*, на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

Создать проект объекта (изделия или процесса) означает выбрать структуру объекта, определить значения всех его параметров и представить результаты в установленной форме.

В большинстве случаев для сложных систем предпочитают нисходящий или смешанный стиль проектирования.

Напомним еще раз, что в соответствии с блочно-иерархическим подходом проектировщик вначале создает общую модель сложной системы, которая описывает функционировании всего устройства. Для её верификации строиться тест. Полученные выходных реакции принимаются в качестве эталонных. Затем, в соответствии с нисходящим методом проектирования эта модель разбивается на подсистемы. Полученный ранее тест может также детализироваться, он используется для проверки более детальных моделей подсистем, а также для верификации проекта на завершающей стадии его разработки и для верификации реального устройства на стадии производства. Процесс детализации проекта продолжается до уровня стандартных компонентов.

Рассмотрим более детально основные этапы и уровни представления объекта на обобщённом маршруте проектирования в САПР электроники (ECAD — Electronics Computer Aided Design).

Современные интегрированные ECAD состоят из большого числа программ, различающихся ориентацией на различные проектные процедуры и разные типы схем. Наиболее известными разработчиками интегрированных САПР являются фирмы Synopsys, Cadence Design Systems, Mentor Graphics. Наряду с ними отдельные программы и библиотеки предлагают многие фирмы, работающие в области САПР электроники.

**Способы реализации электронных устройств**

В своём подавляющем большинстве современные устройства РЭА являются цифровыми или преимущественно цифровыми устройствами. Основные способы реализации таких устройств приведены ниже.

1) Печатная плата, на которой расположены элементы из набора стандартных серий микросхем (различной степени интеграции: БИС, СИС, МИС), соединённые печатными проводниками. При относительно небольшом количестве соединений между элементами используются двухслойные печатные платы, а при большом количестве – многослойные.

2) Специально изготовляемая под проектируемое устройство микросхема типа БИС и СБИС. Принято различать заказные БИС и полузаказные БИС (или ПЛИС).

В случае реализации устройства на базе заказной БИС в одной микросхеме будут реализованы элементы и связи между ними согласно схеме проектируемого устройства. Для реализации элементов в САПР используются предварительно сформированные библиотеки топологических ячеек, напоминающие стандартные серии элементов. При этом все технологические операции по изготовлению БИС выполняются от начала и до конца. В результате, процесс изготовления является достаточно дорогим и долгим и используется только для крупносерийного производства.

Современные программируемые логические устройства (ПЛИС) имеют регулярную структуру, состоящую из логических блоков, которые находятся внутри программируемых матриц коммутационных соединений. Различные типы ПЛИС отличаются структурой и количеством логических блоков, а также быстродействием. Такие ПЛИС являются основной элементной базой систем на кристалле SOC (system on chip). Например, в случае ПК на одном кристалле будет находиться процессор, память, шины и т.д.

Проектирование ПЛИС состоит в прокладке связей согласно схеме проектируемого устройства между нужными функциональными элементами, которые находятся на интегральной микросхеме изначально в избыточном количестве.

Таким образом, выполняется только конечный этап проектирования БИС. В результате, проектирование выполняется в короткие сроки и имеет гораздо более низкую стоимость, чем заказные БИС. В настоящее время это основной способ проектирования для средне и мелкосерийного производства.

**Обобщенный маршрут проектирования в САПР электроники**

При нисходящем стиле проектирования последовательно выполняются процедуры системного, функционально – логического и конструкторского проектирования. Типовая последовательность процедур (маршрут) при проектировании устройства в ECAD представлена на рис.1 5.

Архитектурное проектирование

Моделирование на уровне регистровых передач

Проектирование ПО и микро ПО для МПС

Функциональное проектирование и моделирование

Логическое проектирование и моделирование

Конструкторско –топологическое проектирования моделирование проектирование

Моделирование на уровне эмуляторов системы команд или микрокоманд

Верификация с учётом уточнённых параметров элементов и соединений

Синтез и анализ тестов неисправностей

Подготовка данных для технологического оборудования

Результаты проектирования

Схемотехническое проектирование

Приборно – технологическое проектирование

Библиотека стандартных ячеек / элементов

**Рис.1**.5.Типовой маршрут проектирования устройства в ECAD.

Формализация процедур структурного синтеза в общем случае затруднительна, поэтому она проводится в автоматизированном режиме с привлечением программ, ориентированных на ограниченный класс проектируемых схем (схем памяти, управляющих автоматов, пассивные линейные цепи и т.д.), логического синтеза цифровых схем.

Для проверки корректности результатов синтеза на каждом этапе проектирования проводится верификация в основном путем моделирования. После чего результаты синтеза могут быть скорректированы. Помимо этого, при нисходящем проектировании происходит поэтапное уточнение значений данных, которые носили ориентировочный характер на ранних этапах, что может вызвать необходимость возврата от последующих этапов проектирования к предшествующим.

Таким образом, **проектирование представляет собой итерационный процесс**, с возможными возвратами после проведения моделирования, как к текущему этапу синтеза так и к предыдущим.

При синтезе проектных решений на маршрутах проектирования электронных устройств широко используются *библиотеки функциональных ячеек* (схемы сумматоров, мультиплексоров, счетчиков и т.п.), которые предварительно разрабатываются и тестируются с помощью процедур схемотехнического и приборно-технологического проектирования, и библиотеки *интеллектуальных блоков* (аналогичных микропроцессорным наборам). Это могут быть библиотеки производителя (фирмы – изготовителя спроектированной аппаратуры) или сторонних организаций. В случае проектирования БИС библиотеки функциональных ячеек и интеллектуальных блоков могут быть двух типов: "мягкие" (soft) – описанные на языке HDL параметризированные модули и "жесткие" (hard) – модули топологическом уровня, которые тоже могут быть параметризированными.

**Этапы нисходящего логического проектирования**

На *системном (архитектурном) этапе* проектирования формулируются требования к функциональным и схемным характеристикам, разрабатываются алгоритмы, реализуемые в системе. Алгоритмы могут быть разделены на части, реализуемые аппаратно и программно, в результате получаются задания на разработку аппаратной и программной частей. Для описания модели устройства на этом этапе в ряде САПР могут использоваться языки типа С/С++, для дальнейшего проектирования эти описания переводятся в описания на языках проектирования аппаратуры HDL (Hardware Description Language). Стандартными языками HDL являются Verilog или VHDL.

Если в составе проектируемой системы предусматривается использование микропроцессора, то для разработки и отладки ПО применяются специальные *кросс – системы*, обычно ориентированные на конкретную серию БИС или микро-ЭВМ. Такие системы позволяют проводить отладку программного или микропрограммного обеспечения и, в определенной степени, анализ временного согласования работы микропроцессорной системы (МПС) и обслуживаемого объекта.

Модели, которые используются в этих системах, называются *эмуляторами системы команд* или микрокоманд. Они адекватно описывают выполнение команд или микрокоманд с различными методами адресации, работу систем прерываний и прямого доступа к памяти, приём и выдачу данных на внешние устройства и управляемый объект, изменение в ходе выполнения ПО содержимого программно доступных регистров и флагов и ячеек памяти.

При реализации аппаратной части составляется общая архитектура построения устройства, выделяются операционные и управляющие блоки. В соответствии с заданным алгоритмом строится граф операций (микроопераций), на основе которого принимаются решения по распараллеливанию и/или конвейеризации вычислений. Модели этого этапа проектирования соответствуют *уровню регистровых передач RTL* (Register Transfer Level). На уровне RTL устройство описывается как совокупность многоразрядных регистров и операций преобразования информации между ними. Алгоритм работы устройства описывается в виде последовательности операций преобразования, которые выполняются над многоразрядными числами, хранящимися в регистрах, и записи результатов операций в другие регистры. С помощью моделей уровня RTL проверяется алгоритмы функционирования устройства и его основных функциональных блоков на соответствие выбранным ранее принципам действия и структурным схемам, а также временное согласование работы отдельных блоков с учетом их обобщённых временных параметров.

Полученное поведенческое описание представляет собой исходное задание на функциональное и логическое проектирование, результатом этих этапов являются функциональные и логические схемы.

На *функциональном уровне* основные блоки устройства конкретизируются до стандартных функциональных узлов (счетчики, регистры и т.д.), которые имеются в библиотеках. Для исследования проекта на этом этапе применяются модели узлов, которые описывают их функционирование с учётом схемной реализации и уточнённых динамических параметров.

Поскольку и для описания функциональных схемных элементов и для описания алгоритмов функционирования без конкретной аппаратной реализации в языках HDL используются одни и те же средства, в некоторых источниках модели уровня регистровых передач и функционального уровня обобщенно называют RTL моделями.

На *логическом (вентильном*, Gate Level) уровне описания функциональных узлов детализируются до уровня структур логических вентилей, а описания микропрограмм — до отдельных кодов. Модели логических вентилей достаточно подробно описывают их динамические параметры. С помощью моделей логического уровня проверяется соответствие синтезированных схем описаниям устройства, которые были получены на предыдущих иерархических уровнях. Проверяются как алгоритмы функционирования, так и временные соотношения выполнения микрокоманд, частота синхронизации и т.д.

Моделям логического уровня отводится важная роль в процедурах *синтеза тестов неисправностей*, где с их помощью моделируются неисправности аппаратуры.

Отметим также, что логическое проектирование устройства не обязательно должно проводиться на всех перечисленных уровнях. Конкретизация проекта выполняется до того элементного базиса, который выбран для реализации устройства.

Результаты логического синтеза в виде VHDL или Verilog описаний далее поступают на этап конструкторского проектирования.

*Этап конструкторско-технологического проектирования* включает:

1. выполнение оптимальной компоновки и размещения топологий элементов на кристалле БИС или микросхем на печатной плате;
2. выполнение оптимальной трассировки соединений между элементами;
3. расчёт задержек элементов и соединений с учётом их топологии и паразитных связей.

При конструкторском проектировании для описания топологии устройства широкую известность получили форматы EDIF (стандарт EIA 548 — Electronic Design Interchange Format) и CIF (Caltech Intermediate Format). EDIF удобен для описания передачи данных, включающих списки соединений, параметры СБИС или печатных плат, спецификации тестовых наборов, результаты моделирования и т.п. CIF применяют при передаче проекта, представленного на уровне геометрических примитивов и управляющих данных, в производство.

После этапа топологического проектирования *моделирование* повторяется на уровне выбранной для реализации элементной базы *с учётом уточненных задержек*, обусловленных паразитными параметрами межсоединений. В случае реализации на кристалле (заказная БИС, ПЛИС) чаще всего используется модель логического уровня. Поэтому во многих программах логического моделирования имеются модели проводников, с их помощью рассчитываются задержки в зависимости от результатов трассировки. Для определения значений параметров схемы, получившихся после топологического проектирования, используют специальные программы уточнения задержек (экстракция параметров). Экстракторы для расчёта параметров используют библиотеки, содержащие экспериментальные данные или результаты схемотехнического моделирования.

# Разновидности САПР

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например, по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы САПР.

*По приложениям* наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР. Кроме того, известно большое число специализированных САПР, выделяемых в рамках указанных групп:

1. САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют [машиностроительными САПР](javascript:termInfo(%22машиностроительными%20САПР%22)) или MCAD (Mechanical CAD) системами: САПР летательных аппаратов, САПР летательных аппаратов, автомобилестроения, легкой промышленности, и т.д.

1. [САПР в области радиоэлектроники](javascript:termInfo(%22САПР%20в%20области%20радиоэлектроники%22)): системы ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation): САПР заказных БИС, полу заказных БИС, печатных плат, и т.д.
2. САПР в области архитектуры и строительства: архитектуры зданий, зеленстроя, жилищного строительства и т.д.
3. Другие САПР: химико-технологические, медицинские, киноиндустрии и т.д.

*По целевому назначению* различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные функции проектирования. Так, в составе MCAD и ЕCAD различают CAE/CAD/CAM системы. Системами **CAE (Computer Aided Engineering)** называют системы расчетов и инженерного анализа. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа Math CAD. Системами **CAD (Computer Aided Design)** называют системы конструкторского проектирования. Системами **CAM (Computer Aided Manufacturing)** называют системы автоматизирующие проектирования технологических процессов, что является частью технологической подготовки производства.

*По масштабам охвата процедур маршрута проектирования* различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) и интегрированные САПР. Примерами ПМК могут служить комплекс анализа прочности механических изделий, комплекс анализа электронных схем, имитационного моделирования производственных процессов, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п. Такие САПР охватывают отдельные этапы или процедуры проектирования и чаще всего относятся к системам CAE. Характерными примерами интегрированных САПР являются CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так САПР БИС включает в себя БД готовых проектных решений, подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных схем, топологии кристаллов, тестов для проверки годности изделий.

*По характеру базовой подсистемы* различают следующие разновидности САПР.

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Для них широко используются унифицированные графические ядра (ядра Parasolid фирмы EDS UnyGraphics, ACIS фирмы Intergraph). Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения.
2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например, при проектировании бизнес-планов, а также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики.
3. САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые программно-методические комплексы – ПМК.
4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Для управления столь сложными системами применяют специализированные [системные среды](javascript:termInfo(%22системные%20среды%22)).

**Жизненный цикл изделий и системы его автоматизации**

Жизненный цикл промышленных изделий включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до его утилизации по окончании срока использования. Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис.1. К ним относятся этапы [проектирования](javascript:termInfo(%22проектирования%22)), технологической подготовки производства, собственно производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации (в число этапов жизненного цикла могут также входить маркетинг, закупки материалов и комплектующих, предоставление услуг, упаковка и хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию).

Например, основные этапов ЖЦИ для изделий машиностроения:

* На этапе проектирования выполняются проектные процедуры — формирование принципиального решения, разработка геометрических моделей и чертежей, расчеты, [моделирование](javascript:termInfo(%22моделирование%22)) процессов, [оптимизация](javascript:termInfo(%22оптимизация%22)) и т.п.
* На этапе подготовки производства разрабатываются маршрутная и операционная технологии изготовления деталей, реализуемые в программах для станков ЧПУ; технология сборки и монтажа изделий; технология контроля и испытаний.
* На этапе производства осуществляются: календарное и оперативное планирование; приобретение материалов и комплектующих с их входным контролем; механообработки и другие требуемые виды обработки; контроль результатов обработки; сборка; испытания и итоговый контроль.
* На постпроизводственных этапах выполняются упаковка, транспортировка; монтаж у потребителя; эксплуатация, обслуживание, ремонт; утилизация.

На всех этапах жизненного цикла есть свои цели. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью (снижение себестоимости продукции, сокращение сроков проектирования и производства, обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий), что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики.

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные технические изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС).

На рис. 1 указаны основные типы САПР с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий.

Проектирование

Производство

Реализация

Эксплуатация

Утилизация

PLM

CAE

CAD

CAM

PDM

ERP

SCM

MRP–2

CPC

SCADA

CNC

CRM

IETM

Управление предприятием

Управление технологическим процессом

MES

Рис. 1.Основные типы автоматизированных систем

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения, координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и маршрутами проектирования применяются системы, получившие название **PDM (Product Data Management)** – систем управления проектными данными. Системы PDM либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

На большинстве этапов жизненного цикла, начиная с определения предприятий-поставщиков исходных материалов и компонентов и кончая реализацией продукции, требуются услуги системы управления цепочками поставок — **Supply Chain Management (SCM)**. Цепь поставок обычно определяют как совокупность стадий увеличения добавленной стоимости продукции при ее движении от компаний-поставщиков к компаниям-потребителям. Управление цепью поставок подразумевает продвижение материального потока с минимальными издержками. При планировании производства система SCM управляет стратегией позиционирования продукции. Если время производственного цикла меньше времени ожидания заказчика на получение готовой продукции, то можно применять стратегию "изготовление на заказ". Иначе приходится использовать стратегию "изготовление на склад". При этом во время производственного цикла должно входить время на размещение и исполнение заказов на необходимые материалы и комплектующие на предприятиях-поставщиках.

Управление в промышленности, как и в любых сложных системах, имеет иерархическую структуру. В общей структуре управления выделяют несколько иерархических уровней, показанных на рис. 2. Автоматизация управления на различных уровнях реализуется с помощью автоматизированных систем **управления (АСУ).**

|  |
| --- |
| ?n=2 |

Рис.2.Общая структура управления производством

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется автоматизированными системами управления предприятием (**АСУП)** и автоматизированными системами управления технологическими процессами **(АСУТП).**

К **АСУП** относятся системы планирования и управления предприятием **ERP (Enterprise Resource Planning)**, планирования производства и требований к материалам **MRP-2** (Manufacturing Requirement Planning) и упомянутые выше системы **SCM**. Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т.п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством. В некоторых случаях системы SCM и MRP-2 входят как подсистемы в ERP, в последнее время их чаще рассматривают как самостоятельные системы.

В состав **АСУТП** входит система **SCADA** (Supervisory Controland Data Acquisition), выполняющая диспетчерские функции (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и помогающая разрабатывать ПО для встроенного оборудования. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы **CNC** (Computer Numerical Control) на базе специализированных промышленных компьютеров (контроллеров), которые встроены в технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Системы CNC называют также встроенными компьютерными системами.

Промежуточное положение между АСУП и АСУТП занимает производственная исполнительная система **MES (Manufacturing Execution Systems)**, предназначенная для решения оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

На этапе реализации продукции используются системы **CRM (Customer Requiremence Management)**, которые выполняют функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия.

Функции обучения обслуживающего персонала выполняют интерактивные электронные технические руководства **IETM** **(Interactive Electronic Technical Manuals).** С их помощью выполняются диагностические операции, поиск отказавших компонентов, заказ дополнительных запасных деталей и некоторые другие операции на этапе эксплуатации систем.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства автоматизированных систем, направлены на создание систем электронного бизнеса (**E-commerce**). Задачи, решаемые системами E-commerce, сводятся не только к организации на сайтах Internet витрин товаров и услуг. Они объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий. Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведет к минимизации времени и стоимости выполнения заказа.

Координация работы многих предприятий-партнеров с использованием технологий Internet возлагается на системы E-commerce, называемые системами управления данными в интегрированном информационном пространстве **CPC (Collaborative Product Commerce**).

Управление данными в едином информационном пространстве на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий возлагается на систему управления жизненным циклов продукции **PLM (Product Lifecycle Management)**. Характерная особенность PLM — обеспечение взаимодействия различных автоматизированных систем многих предприятий, т.е. технологии PLM (включая технологии CPC) являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий.

Единое информационное пространство обеспечивается благодаря **унификации формы и содержания**. Унификация формы информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла достигается использованием стандартных форматов и языков представления информации. Унификация содержания, т.е. однозначная интерпретация данных о конкретном изделии обеспечивается разработкой онтологий (метаописаний) объектов, которые закрепляются в прикладных протоколах CALS -технологий.

Целью **CALS-технологий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support)** или информационной поддержки изделий является унификация и стандартизация проектной, технологической, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документацией для промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла.

CALS-технологии призваны служить средством, интегрирующим в единую многофункциональную систему промышленные автоматизированные системы: системы управления документооборотом, управления проектными данными (PDM), взаимодействия предприятий в электронном бизнесе (CPC), подготовки интерактивных электронных технических руководств и некоторые другие.

Их главная задача— обеспечение единообразного описания и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы, вплоть до глобальных.

Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделенных во времени и пространстве и использующих разные CAE/CAD/CAM-системы и **создание виртуальных предприятий**, которые разрабатывают и реализуют общие проекты на основе информационного взаимодействия.

Внедрение CALS позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства изделий, повысить их качество, упростить эксплуатацию.

Сокращение материальных и временных затрат на проектирование и изготовление изделий достигается благодаря возможности многократного воспроизведения в новых проектах удачных разработок компонентов и устройств, описания которых хранятся в базах данных и доступны любому пользователю технологии CALS. Появляются более широкие возможности для специализации предприятий, что также способствует снижению затрат.

Повышение качества изделий достигается за счет распространения передовых проектных и управленческих решений.

Снижение затрат на эксплуатацию достигается благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки, что облегчает решение проблем ремонтопригодности, интеграции продукции в различные системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т.п.

В будущем успех на рынке сложной технической продукции будет невозможен вне технологии CALS.